

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-207036

(43)Date of publication of application : 07.08.1998

(51)Int.Cl.

G03F 1/08
G01J 9/00
H01L 21/027

(21)Application number : 09-008947

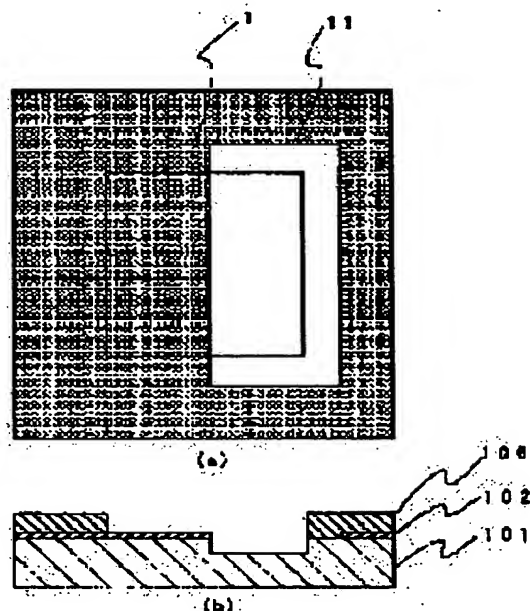
(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 21.01.1997

(72)Inventor : ISHIDA SHINJI
YASUSATO TADAO**(54) PATTERN FOR MEASURING PHASE DIFFERENCE AND PRODUCTION OF PHASE SHIFT MASK****(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the accuracy of the etching depth of a phase shift mask for generating a phase difference by etching a transparent substrate by exactly measuring the phase difference during mask production using an auxiliary pattern of the same size as the size of the main pattern, and further executing additional etching and finishing the mask to the target depth.

SOLUTION: A pattern 1 for measuring the phase difference is previously arranged on the periphery of the mask. At the time of etching of the transparent substrate 101, the pattern 1 for measuring the phase difference is partly protected by a light shielding film 102 and the transparent substrate in the part of an opening pattern 11 is etched. At the time of the measurement of the phase difference, the light shielding film 102 of the pattern 1 for measuring the phase difference is partly removed. The etched part and nonetched part of the pattern 1 for measuring the phase difference are exposed in such a manner, by which the phase difference is measured by using transmitted light during the course of the mask production.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 21.01.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 16.05.2000

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3161348

[Date of registration] 23.02.2001

Best Available Copy

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-207036

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月7日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 3 F 1/08

G 0 3 F 1/08

A

G 0 1 J 9/00

G 0 1 J 9/00

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 0 2 P

5 2 8

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願平9-8947

(22) 出願日

平成9年(1997) 1月21日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 石田 伸二

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 安里 直生

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

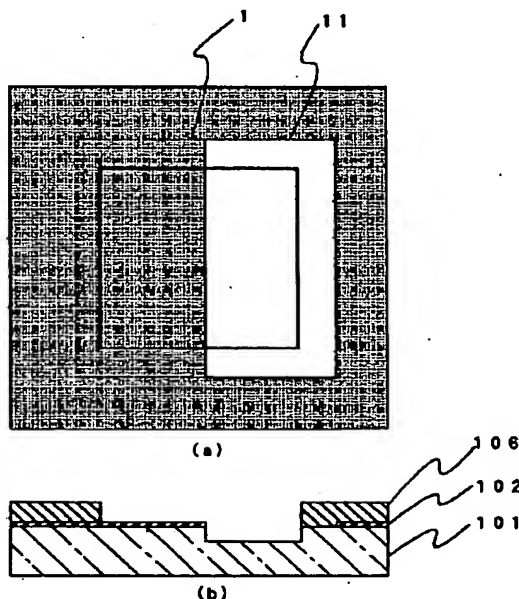
(74) 代理人 弁理士 菅野 中

(54) 【発明の名称】 位相差測定用パターンおよび位相シフトマスクの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 透明基板をエッチングして位相差を生じさせる位相シフトマスクにおいて、マスク製造中に位相差を正確に測定し、メインパターンと同寸法の補助パターンを用いる。

【解決手段】 マスクの周辺に位相差測定用パターン1を配置しておく。透明基板101のエッチング時には、位相差測定用パターン1の一部は遮光膜102に保護されており、開口パターン11の部分の透明基板がエッチングされる。そして、位相差測定時には、位相差測定用パターン1の遮光膜102を部分的に除去する。このように位相差測定用パターン1において、エッチングされた部分とエッチングされていない部分を露出させることにより、マスク製造途中で位相差を透過光を用いて測定する。



1 : 位相差測定用パターン
11 : 開口パターン
101 : 透明基板
102 : 遮光膜
106 : 感光性樹脂

【特許請求の範囲】

【請求項1】 透明基板をエッチングすることにより隣接する透明部の透過光に位相差を生じさせる位相シフトマスクの位相差測定用パターンであって、

遮光膜で覆われていない部分の透明基板のみがエッチングされ、

位相差測定時には前記遮光膜を除去してエッチングされていない部分の透明基板を露出させる構造のものであることを特徴とする位相差測定用パターン。

【請求項2】 透明基板上に遮光膜のパターンを形成する第1の工程と、透明基板の一部をエッチングすることにより位相シフトパターンを形成する第2の工程を有する位相シフトマスクの製造方法であって、

前記透明基板のエッチング工程の途中で感光性樹脂を全面剥離せずに前記位相シフトマスクの周辺部に配置された位相差測定用パターンにおいて位相差を測定し、追加エッチング量を決定することを特徴とする位相シフトマスクの製造方法。

【請求項3】 前記遮光膜の一部を選択的に除去し、前記遮光膜に覆われエッチングされていない透明基板の表面を露出させ、前記エッチングされていない透明基板部とその周辺のエッチングされた部分とで位相差を測定することを特徴とする請求項2に記載の位相シフトマスクの製造方法。

【請求項4】 透明基板をエッチングすることにより隣接する透明部の透過光に位相差を生じさせる位相シフトマスクの位相差測定用パターンであって、エッチングストッパー層の成膜された部分とエッチングストッパー層のない部分からなり、

基板のエッチング時にはエッチングストッパー層のない部分の透明基板のみがエッチングされる構造のものであることを特徴とする位相差測定用パターン。

【請求項5】 透明基板上にエッチングストッパー層および遮光膜を成膜し、前記遮光膜を選択的にエッチングして所定の透明部を形成し、前記エッチングストッパー層および透明基板をエッチングする位相シフトマスクの製造方法であって、

前記遮光膜の除去された透明部のうち前記エッチングストッパー層が残り前記透明基板がエッチングされていない部分と前記エッチングストッパー層がなく透明基板がエッチングされている部分の透過光の位相差を測定することを特徴とする位相シフトマスクの製造方法。

【請求項6】 透明基板上に遮光膜を成膜し、前記遮光膜を選択的にエッチングし所定の透明部を形成した後、前記透明基板および遮光膜上にエッチングストッパー層を成膜し、前記エッチングストッパー層および透明基板をエッチングする位相シフトマスクの製造方法であって、

前記遮光膜の除去された透明部のうち前記エッチングストッパー層が残り前記透明基板がエッチングされてい

い部分と前記エッチングストッパー層がなく透明基板がエッチングされている部分の透過光の位相差を測定することを特徴とする位相シフトマスクの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、投影露光装置で用いられる位相シフトマスクに関し、特にその位相差を測定する専用のパターンと位相シフトマスクの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】現在、半導体素子の製造工程においては、半導体基板上にパターンを形成するために、主に光リソグラフィ技術を用いている。光リソグラフィでは、縮小投影露光装置によりフォトマスク（透明領域と遮光領域からなるパターンが形成された露光用原板であり、縮小率が1：1でない場合は、特にレチクルとも呼ばれるが、ここでは、いずれもフォトマスクという）のパターンを感光性樹脂の塗布された半導体基板上に転写し、現像により感光性樹脂の所定のパターンを得ることができる。これまでの光リソグラフィ技術においては、おもに露光装置の開発、とりわけ投影レンズ系の高NA化により半導体素子パターンの微細化へ対応してきた。ここで、NA（開口数）とはレンズがどれだけ広がった光を集められるかに対応し、この値が大きいほどより広がった光が集められ、レンズの性能は良いことになる。

【0003】また、一般にレーレー（Rayleigh）の式としてよく知られているように、限界解像度R（解像できる限界の微細パターンの寸法）とNAとの間には、 $R = K1 \times \lambda / NA$ （ここで、K1は感光性樹脂の性能等のプロセスに依存する定数）の関係があり、NAを大きくするほど限界解像度は、より微細になってきていた。

【0004】しかし、露光装置の高NA化により解像力は向上するものの、逆に焦点深度（焦点位置のずれが許容できる範囲）は減少し、焦点深度の点で更なる微細化が困難となってきた。ここでも実際の物理的説明は省くが、先と同様レーレーの式として、焦点深度DOFとNAには、 $DOF = K2 \times \lambda / NA^2$ （ここで、K2はプロセスに依存する定数）の関係が成り立つことが知られている。すなわち、NAを大きくするほど焦点深度は狭くなり、わずかな焦点位置のずれも許容できなくなる。

【0005】そこで、フォトマスクの透過光の位相を制御する位相シフトマスクが焦点深度および解像度の向上手段として注目されている。

【0006】位相シフトマスクには各種の方式があるが、その中でも渋谷－レベンソン（Levenson）方式（特開昭62-50811号公報）が最も効果が高い。ここで、渋谷－レベンソン方式の位相シフトマスクについて図面を用いて説明する。図14に渋谷－レベンソン方式の位相シフトマスクを示す。図14（a）は平

面図、図14(b)は縦断面図である。透明基板101上には遮光膜102が成膜され、その遮光膜102を選択的に除去することにより、周期的に開口パターン21が形成される。そして、これらの開口パターン21には1つおきに透明膜104が配置される。光の波長 λ は、伝播する物質中では λ/n (n は物質の屈折率)となるため、空气中 ($n=1$) と透明膜104を透過する光には位相差が生じる。

【0007】そして、透明膜104の膜厚 t を $t=\lambda/2(n-1)$ (ここに、 λ は露光光の波長、 n は透明膜の屈折率) とすることにより、その位相差を180度としている。よって、渋谷ーレベンソン方式マスクの透過光の振幅分布は、図14(c)に示すように、交互に位相が反転した分布となり、この振幅分布の周期は本来の2倍になる。

【0008】よって、このマスクの回折光の回折角は通常の $1/2$ となり、従来の限界解像度以下のパターンもその回折光を投影レンズで集めることができる。そして、この位相が反転した光同士の干渉により、隣接開口部の間では光強度が低下し、微細パターンを分離することが可能となる。この透明膜は、位相シフターと呼ばれ、シリコン酸化膜(SiO_2)が通常用いられる。

【0009】図15に、その製造方法を示す。同図(a)に示すように、透明基板101と遮光膜102の間にエッチングストッパー層103を成膜した、特殊なマスクブランクが用いられた。一般的には、透明基板101の材料は合成石英(SiO_2)であり、遮光膜102の材料はクロムが用いられる。また、マスクを遮光した光が半導体基板表面で反射し、再びマスク表面で反射することを防止するために遮光膜102の表面には反射防止膜が成膜されるが、これは通常酸化クロムが用いられる。また、エッチングストッパー層103は、透明基板101(合成石英: SiO_2)とシフター材料(SOG等)が選択的にエッチングすることができないため必要になっている。

【0010】そして、同図(b)に示すように、通常マスクと同じように遮光膜102をエッチングする。この遮光膜102のエッチングは、ウェットあるいはドライエッチングの2種類の方法がある。ウェットエッチングには、硝酸セシウム第3アンモン水溶液が用いられる。また、ドライエッチングには、 Cl_2 等の塩素を含むガスが用いられる。

【0011】そして、同図(c)に示すように、SOGを回転塗布し透明膜104を成膜した後、再び感光性樹脂106を塗布してシフターパターンの描画を行う。そして、現像により感光性樹脂106のパターンを形成し、 CF_4 、 CHF_3 等のフッ素を含むガスを用いたドライエッチングにより、透明膜104のエッチングを行う。そして最後に感光性樹脂106を剥離すると、同図(e)に示すように位相シフトマスクが完成する。

【0012】このように、シフターをマスク上に形成する構造では、位相シフターと透明基板の間には、エッチングストッパーが必要であった。露光光の波長が水銀ランプのg線(436nm)やi線(356nm)の場合には、透過率が100%に近く、かつ耐光性のあるエッチングストッパー材料が存在したが(たとえば酸化錫等)、KrFエキシマレーザー光(248nm)に対しては、適当なエッチングストッパー材料がなかった。

【0013】そのため、通常マスクの上に位相シフターを配置するのではなく、透明基板自体をエッチングすることにより、位相差を生じさせる構造が検討されてきた。

【0014】図16は、基板をエッチングするタイプの位相シフトマスクを示す縦断面図である。図16において、101は透明基板、102は遮光膜、21は開口パターンであり、この構造は、エッチングストッパーを用いないため、KrF露光や、さらに短波長の露光光(ArFエキシマレーザー)に対しても適用できる。また、エッチングストッパーおよび位相シフターの成膜工程がないため、欠陥の発生が低減できる等の利点がある。

【0015】しかし、実際に図16の構造の渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクを用いてパターンを転写すると、大きな問題が生じた。これは、隣接する開口パターン21の一方をエッチングすると、結像面上では基板をエッチングした部分の光強度が低下し、隣接パターン間で寸法差が生じるという現象であった。

【0016】この現象が確認されてから、実験およびシミュレーションで検討が進み、これは、透明基板の位相は、エッチング部の側壁を境として0度~180度に完全に分かれるのではなく、側壁近傍では、その中間の位相となる領域が存在する。また、実際にはマスクに斜めに入射する光もあるため、段差部側壁では反射等も起こり、一層複雑な位相変化が生じている。そして、この位相が複雑に変化した部分が結像面上で開口部の光強度を低下させる。

【0017】そこで、この問題を解決するために、透明基板のエッチング側壁を遮光膜の下に隠す手法が提案された。このマスク構造を図17に示す。図17において、101は透明基板、102は遮光膜、21は開口パターンであり、図17に示すように、開口部のエッジから基板段差部の側壁を0.1 μm 程度離すことにより、位相の乱れた部分の光は、すべて遮光膜102で止められ、位相が180度変化した光のみが開口部を通過するようにできる。

【0018】次に、図17に示す構造の位相シフトマスクの製造方法について図面を用いて説明する。図18にその製造工程を示す。マスクブランク(パターンの形成されていないフォトマスク用基板)としては、合成石英の透明基板101上に遮光膜102としてクロム(膜厚70nm)と酸化クロム(膜厚30nm)を順次成膜し

た通常のマスクブランク（パターンの形成される前の基板）を用いる。まず、同図（a）に示すように、このマスクブランク上に感光性樹脂106を塗布し、遮光パターンの描画を行う。

【0019】次に、同図（b）に示すように、現像行程で感光性樹脂106のパターンを形成した後、硝酸セシウム第3アンモン水溶液を用いてウェットエッチングにより、遮光膜102のパターニングを行う。ここまでは、通常フォトマスクの製造方法と同一である。ただし、フォトマスク上には半導体素子パターンの他に、2

回目にも重ねあわせ描画のためのアライメントマークや位相差測定用のパターンも形成される点が異なる。

【0020】次に同図（c）に示すように、いったん電子線感光性樹脂を剥離した後、再び塗布し、2回目の電子線描画を行う。ここでは、先に形成したアライメントマークを用いた重ねあわせを行い、シフターパターンの描画を行う。

【0021】そして、同図（d）に示すように現像後、フッ素を含むガス（ CHF_3 、 SF_6 等）を用いたドライエッチング（平行平板型のRIEエッチング装置）で所

定深さのシフター部107をエッチングする。このときのエッチング量は、180度の位相差を生じさせる深さより、100nm程度少なく設定される。

【0022】次に同図（e）に示すようにフッ酸（バッファードフッ酸：130BHFの希釈水溶液）で更に100nmウェットエッチングし、180度の位相差を生じる深さにシフター部107を仕上げる。そして、最後に感光性樹脂106を剥離し、マスク洗浄（硝酸および過酸化水素水の混合液等）を行った後に位相差測定を行う。この位相差測定方法において、位相シフトマスクが

提案された初期は、触針式段差測定器でエッチング深さdを測り、これに透明基板の露光光（波長 λ ）に対する屈折率nを用いて、位相差 $=360 \times (n-1) \times d / \lambda$ より求めていた。

【0023】しかし、触針式の段差測定器の精度では、必要とされる位相差測定精度が得られなかったため、現在は光学式の測定方法が主流となっている。特に、溝尻光学のPSM-100およびレーザーテック社のMPM-100が市販されるようになり、位相シフトマスクの位相差測定の標準機となりつつある。

【0024】また、マスク製造後の位相差の確認において、微細でかつ形状の複雑な半導体素子パターンの部分で測定することが困難な場合が多いため、特に位相差を測定するためのパターンをマスクの周辺部に配置していた。その一例を図19に示す。図19において、101は透明基板、102は遮光膜、21は開口パターンである。図19に示す位相差測定用パターンは、10 μm のラインアンドスペースパターンであり、レベンソン方式の位相シフトマスクのように隣接開口部の一方をエッチングしている。いつもマスク上に同じ位相差測定用パ

ーンを配慮しておくことにより、正確に位相差の測定が行われていた。

【0025】なお、この渋谷ーレベンソン方式位相シフトマスクには、このほかいくつかの構造が提案されている。次に、その中の1つのマスク構造および製造方法を図20に示す。

【0026】図20（a）に示すように、遮光パターンを形成するところまでは通常マスクと同じである。ただし、同図（b）に示す透明基板のエッチングにおいて、位相差180度の深さにドライエッチングを行う。そして、同図（c）に示すように感光性樹脂106を剥離し、Phase-1あるいはPMP-100等の干渉式位相差測定装置により、位相差の測定を行う。そして、位相差が所定の範囲に入っていれば、同図（d）に示すように、マスク全面をウェットエッチングし、先のドライエッチングで形成された透明基板の側壁0.1 μm 程度後退させる。

【0027】なお、位相シフトマスクには、この渋谷ーレベンソン方式以外にも、リム型、クロムレス等の方式がある。図21に、リム方式の位相シフトマスクを示す。図21において、101は透明基板、102は遮光膜、21は開口パターンである。図21に示す位相シフトマスクは、遮光パターンのエッジ近傍の位相を180度変えることにより、エッジ位置の光強度分布を急峻にする位相シフトマスクである。また、図22に示すクロムレス方式の位相シフトマスクは、遮光パターンではなく、位相シフターの遮光効果でパターンを形成する構造のものである。このような渋谷ーレベンソン方式以外の方式では、ドライエッチングのみで位相差180度の深さにエッチングされる。

【0028】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、従来の位相シフトマスクにおいては、位相差測定が感光性樹脂の剥離後に位相差を測定していたため、位相差が所定の範囲からずれていた場合は、再び感光性樹脂のパターンを形成して、追加のエッチングをしなければならなかった。感光性樹脂を剥離しない状態では、MPM-100等の標準機で測定できないため、たとえば触針式段差計により測定したとしても、十分な精度は得られなかった。

【0029】本発明の目的は、透明基板のエッチングの途中で光学干渉式測定装置（MPM-100等）で位相差を精度よく測定することを可能とし、エッチングの完了前に一旦現在のエッチング量を確認し、その後、更に追加エッチングして目標の深さに仕上げることによりエッチング深さの精度を向上させるようにした位相差測定用パターンおよび位相シフトマスクの製造方法を提供することにある。

【0030】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するた

め、本発明に係る位相差測定用パターンは、透明基板をエッチングすることにより隣接する透明部の透過光に位相差を生じさせる位相シフトマスクの位相差測定用パターンであって、遮光膜で覆われていない部分の透明基板のみがエッチングされ、位相差測定時には前記遮光膜を除去してエッチングされていない部分の透明基板を露出させる構造のものである。

【0031】また本発明に係る位相シフトマスクの製造方法は、透明基板上に遮光膜のパターンを形成する第1の工程と、透明基板の一部をエッチングすることにより位相シフトパターンを形成する第2の工程を有する位相シフトマスクの製造方法であって、前記透明基板のエッチング工程の途中で感光性樹脂を全面剥離せずに前記位相シフトマスクの周辺部に配置された位相差測定用パターンにおいて位相差を測定し、追加エッチング量を決定する。

【0032】また前記遮光膜の一部を選択的に除去し、前記遮光膜に覆われエッチングされていない透明基板の表面を露出させ、前記エッチングされていない透明基板部とその周辺のエッチングされた部分とで位相差を測定する。

【0033】また本発明に係る位相差測定用パターンは、透明基板をエッチングすることにより隣接する透明部の透過光に位相差を生じさせる位相シフトマスクの位相差測定用パターンであって、エッチングストッパー層の成膜された部分とエッチングストッパー層のない部分からなり、基板のエッチング時にはエッチングストッパー層のない部分の透明基板のみがエッチングされる構造のものである。

【0034】また本発明に係る位相シフトマスクの製造方法は、透明基板上にエッチングストッパー層および遮光膜を成膜し、前記遮光膜を選択的にエッチングして所定の透明部を形成し、前記エッチングストッパー層および透明基板をエッチングする位相シフトマスクの製造方法であって、前記遮光膜の除去された透明部のうち前記エッチングストッパー層が残り前記透明基板がエッチングされていない部分と前記エッチングストッパー層がなく透明基板がエッチングされている部分の透過光の位相差を測定する。

【0035】また透明基板上に遮光膜を成膜し、前記遮光膜を選択的にエッチングし所定の透明部を形成した後、前記透明基板および遮光膜上にエッチングストッパー層を成膜し、前記エッチングストッパー層および透明基板をエッチングする位相シフトマスクの製造方法であって、前記遮光膜の除去された透明部のうち前記エッチングストッパー層が残り前記透明基板がエッチングされていない部分と前記エッチングストッパー層がなく透明基板がエッチングされている部分の透過光の位相差を測定する。

【0036】

【作用】現在、位相シフトマスクの位相差測定方法として、MPM-100等の光学式測定法は、その測定精度の点から標準的方法となっている。しかし、この方法によれば、位相差を測定しようとする2つの部分に感光性樹脂が存在していたのでは、測定できない。これは、感光性樹脂の屈折率および膜厚はプロセス条件により変化するためである。

【0037】したがって、本発明の位相差測定用パターンでは、感光性樹脂に覆われていない部分に、エッチング部と非エッチング部を形成することでエッチング途中に正確な位相差測定を可能としている。まず、第1の位相差測定用パターンでは遮光膜を除去することで、エッチング部と非エッチング部の透明基板を露出させ、この部分で正確に位相差が測定される。そして、第2の位相差測定用パターンにおいては、透明基板のエッチングではエッチングされない透明膜を用い、この透明膜がなくエッチングされた透明基板部分との位相差を測定している。ここで、この透明膜の膜厚は5nm以下と極薄く成膜されるので、この透明膜による位相差は5度以下であり、また、この透明膜はエッチングにより変化しないので、この透明膜分の位相差をあらかじめ測定しておくことにより、正確にエッチング分の位相差が測定できる。

【0038】また、本発明の位相シフトマスクの製造方法においては、上記位相差測定用パターンを用い、エッチング途中で位相差を確認し、その測定位相差に基づき追加エッチングを行うことにより、最終位相差を正確に設定することができる。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図により説明する。

【0040】（実施形態1）本発明の実施形態1に係る位相差測定用パターンおよび位相シフトマスクの製造方法について図1を用いて説明する。図1に示すように本発明の実施形態1に係る位相差測定用パターン1は、25μm角の大きさであり、透明基板101の表面に遮光膜102が形成され、基板101の半部分が開口パターン11（12.5μm×25μm）であって、透明基板101の表面が露出しており、残りの部分は遮光膜102により覆われている。

【0041】位相差測定用パターン1は、透明基板101のエッチング時に図2に示すように感光性樹脂106により20μm角の開口パターン11が形成される。

【0042】図3に透明基板101のエッチング時の位相差測定用パターン1を示す。図3に示すように、位相差測定用パターン1は、開口パターン1のうち感光性樹脂106により覆われていない透明基板101の表面がエッチングされていない部分11aが形成されるが、遮光膜102で覆われた透明基板101の表面はエッチングされない。そして、エッチング途中において位相差を確認するためには、図4に示すように位相差測定用パタ

ーン1の透明基板101のうち感光性樹脂106に覆われていない部分にウェットエッチング液を滴下し、感光性樹脂106に覆われていない部分の遮光膜102を剥離する。

【0043】このようにして、遮光膜102の下のエッチングされていない部分（図中白丸）とエッチングされた部分（図中の黒丸）の位相差をMPM-100を用いて測定することができる。また、このように位相差測定用パターン1のうち、遮光膜102の一部（上下部分）を残しているのは、MPM-100等での位相差測定の際にどの部分が遮光膜に覆われていたかをわかりやすくするためである。

【0044】また、マイクロローディング効果が生じる場合には、この位相差測定用パターン1は、半導体素子パターンに近いパターンを用いる必要がある。マイクロローディング効果とは、パターン寸法および粗密によりエッチング速度が変化する現象である。

【0045】半導体製造工程で用いられる酸化膜のドライエッチングにおいては、パターン寸法が $0.3\mu\text{m}$ 以下になると、エッチング速度が低下する。よって、5倍マスクの場合では、ほとんどパターン寸法によるエッチング速度の違いは無視できるが、実際に使用するパターンとあわせる方が望ましい。たとえば、図5に示すように9本の等間隔に並んだ開口パターン21を使用する。ここで、開口寸法Wと間隔Dは同一寸法となっており、ここではマスク上 $1.5\mu\text{m}$ としている。また、開口パターン21の長さは $25\mu\text{m}$ である。このパターン21においてもエッチング時は図6に示すように感光性樹脂106のパターンが形成される。

【0046】本発明の実施形態1に係る位相差測定用パターン1は、例えば図7に示すように位相シフトマスク上に配置される。位相シフトマスクの周辺を除くほとんどの部分は半導体基板上に転写されるパターン（露光装置の重ね合わせ用マーク等も含むが、ここでは半導体素子パターン201という）が占め、周辺の特定位置には露光装置が使用する露光装置用パターン202（レチク

$$d = \lambda / 2 (n - 1) = 365 / 2 (1.46 - 1) = 365 / 0.92 = 397 \text{ nm}$$

そして、エッチング段差部側壁の影響を避けるため、最後の 100 nm はウェットエッチングを行うものとする。ドライエッチングでは 297 nm をエッチングする必要がある。そこで、ここでは時間指定で 297 nm のエッチングを行う。

【0050】次に、位相差測定用パターン1を用いて現在のエッチングの深さの確認を行う。まず、図8（f）に示すように、位相差測定用パターン1上にウェットエッチング液105を滴下し、感光性樹脂106で覆われていない遮光膜102を完全に除去する。そして、次に基板を回転させウェットエッチング液を水洗し、さらにそのまま回転させて乾燥を行う。なお、ここではマスク

ルアライメントマーク、フォーカスキャリブレーション、ベースラインチェック用パターン）が配置されるため、位相差測定用パターン1は、半導体素子パターン201と露光装置用パターン202との間に複数箇所配置する。また、後で説明するが、位相差測定用パターン1は位相差測定の直前に遮光膜をエッチングするため、一回使用してしまえば、次のエッチング後は使用できなくなる。そのため、同じ位置（例えば、図中の右上）にも複数配置しておくことが望ましい。

【0047】次に、本発明の実施形態1に係る位相差測定用パターン1を用いた位相シフトマスクの製造方法について説明する。図8にその製造工程を示す。まず、図8（a）に示すように、透明基板101上に遮光膜102が成膜された通常のマスキングブランクを用い、その上に感光性樹脂106を塗布し、遮光パターンの描画を行う。このとき図に示すように、半導体素子パターン等の半導体基板上に転写されるパターンと一緒に、本位相差測定用パターン1もフォトマスク周辺部に描画される。

【0048】次に、図8（b）に示すように、現像工程を経て感光性樹脂106のパターンを形成した後、塩素ガス（ Cl_2 ）と酸素（ O_2 ）を用いたドライエッチングにより、遮光膜102をエッチングする。次に、感光性樹脂106を剥離し、再び図8（c）に示すように、感光性樹脂106を塗布した後、シフターパターンの描画を行う。このとき、位相差測定用パターンには図2に示すような透明基板部と遮光部にかかる開口パターンが描画される。

【0049】次に図8（e）に示すように、現像を行った後、今度は $\text{CHF}_3 + \text{O}_2$ ガスを用いたドライエッチングにより透明基板101のエッチングを行う。ここでは、i線に対して位相差 180° の位相シフトマスクを製造するものとして説明する。合成石英（透明基板101）のi線に対する屈折率nを 1.46 とすると、位相差を 180° とするためには、以下の式で与えられる深さdをエッチングする必要がある。

ブランクを現像装置のチャックに固定して特定の位相差測定用パターン1の部分に遮光膜のウェットエッチング液105を滴下する方法を示したが、位相差測定用パターン1がマスク最外周に配置されている場合は、その部分のみをウェットエッチング液105の水槽に漬けても良い。そして、遮光膜を除去した位相差測定用パターン部においてMPM-100等を用いて位相差測定を行う。

【0051】位相差測定後の工程を図9に示す。ここでは先に用いた（遮光膜を除去した）位相差測定用パターンとは別の位置の位相差測定用パターン1を示している。今度は、先の位相差の測定値 θ より次式で求められ

10

20

30

40

50

る深さd1だけ透明基板101をウェットエッチングする。

$$d1 = (180 - \theta) \lambda / 360 (n - 1)$$

$$d1 = ((180 - 135) \times 365) / (360 \times (1.46 - 1)) \\ = 99 \text{ nm}$$

をウェットエッチングすることになる。

【0052】図9(a)に示すように、位相差測定結果に基づき計算された深さd1のウェットエッチングを行う。なお、もしドライエッチング装置の異常等でエッチング量が極端に少なく、ウェットエッチング量d1が20nm以上となってしまう場合は再びドライエッチングを行うことになる。これは、遮光膜のひさし部分が長くなると破損し易くなるためである。

【0053】次に図9(b)に示すように、再び位相差測定用パターンの遮光膜102を剥離して位相差の確認を行う。なお、ここで位相差が許容範囲より小さければ、更にウェットエッチングを追加し、また別の位相差測定用パターン1にて位相差を確認するという工程を繰り返す。

【0054】そして、位相差が許容範囲に入れば、図9(c)に示すように、感光性樹脂106を剥離して位相シフトマスクを完成させる。このように深くエッチングしすぎなければ、追加のエッチングを行い位相差を補正することが可能である。よって、必ず浅くエッチングを行い、その位相差を確認しながら、位相差を許容範囲(例えば180+/-5度)に入れるようにすることにより、位相シフトマスク製造の歩留りを向上できる。

【0055】

【実施形態2】次に、本発明の実施形態2に係る位相差測定用パターン及びこれを用いた位相シフトマスクについて図面を用いて説明する。まず、本実施形態2に係る位相差測定用パターン1のエッチング前の一例を図10に示す。図10(a)は平面図、図10(b)は縦断面図である。ここでは、図10(a)に示すように、マスク上10μm幅の開口パターン11a、11bを形成している。ここで、区別を容易にするため、その長さは一方を20μm、他方は25μmと変えている。そして、図10(b)に示すように、開口パターン11a、11bにはエッチングストッパー層103が成膜されている。

【0056】次に、エッチング後の位相差測定時の位相差測定用パターンを図11に示す。位相差測定には、一方の開口パターン11aにはエッチングストッパー層が残り、他方の開口パターン11bでは、エッチングストッパー層103は除去され、かつ透明基板101が所定の深さにエッチングされている。この状態であらかじめエッチングストッパー層103で生じる位相差を求めておけば、MPM-100等の干渉式位相差測定器で正確に透明基板のエッチング分の位相差を測定できる。

【0057】次に、図12に本実施形態2に係る位相差

たとえば、ドライエッチング後の測定位相差が135度であれば、

測定用パターンを用いた位相シフトマスクの製造工程を示す。図12(a)に示すように、本位相シフトマスクの製造方法においては、透明基板101上にエッチングストッパー層103および遮光膜102が成膜されたマスクブランクを用いる。ここで、透明基板101および遮光膜102は、通常の写真マスク用の材料を用いる(透明基板は合成石英、遮光膜はクロム)。また後で説明するが、エッチングストッパー層103の材料の条件としては、透明基板および遮光膜と選択的にエッチングできることと、ある程度の透過率を有することが必要がある。たとえば酸化スズ(SnO₂)、アルミナ(Al₂O₃)、シリコン(Si)、窒化珪素(Si₃N₄)、ルテニウム(Ru)、酸化ルテニウム(RuO₂)等が使用できる。また、このエッチングストッパー層は最後に除去するため、ここでは最も除去が簡単な材料として、酸化ルテニウムを選択して以下説明する。

【0058】次に、図12(b)に示すように、本マスクブランク上に感光性樹脂106を塗布し、遮光パターンの描画を行う。ここで、写真マスク上の周辺部には、先の実施形態1と同様に位相差測定用パターン1が描画される。

【0059】次に、図12(c)に示すように、遮光膜102をCl₂ガスを用いたドライエッチングによりエッチングする。そして、一旦感光性樹脂106を剥離し、再び塗布した後、シフターパターンの描画を行う。

【0060】次に、図12(d)に示すように、現像を行い感光性樹脂パターンを形成した後、O₂ガスを用いたドライエッチングによりエッチングストッパー層103をエッチングする。

【0061】次に図12(e)に示すように、CHF₃とO₂を用いたドライエッチングにより透明基板1を所定深さエッチングする。ここでも先の実施形態1と同様、このドライエッチングで298nmの深さにエッチングする。

【0062】そして、図12(f)に示すように、感光性樹脂106を剥離し、位相差測定用パターン1により位相差を確認する。ただし、本位相差測定用パターン1には、エッチングストッパー層は一部残っているため、このエッチングストッパー層分の位相変化分は補正する必要がある。ここで、エッチングストッパー層103に用いた酸化ルテニウムの膜厚tを5nm、その屈折率n1を2.0とすると、エッチングストッパー層で生じる位相差θ1は、以下のように求められる。

$$\theta 1 = 360 \times (n 1 - 1) \times t / \lambda = 360 \times 1 \times 5 / 365 = 4.9 \text{ 度}$$

よって、エッチング分の位相差はMPM-100の測定結果より、上記の4.9度を引いた値となる。たとえば、ここでも測定位相差が135度であったとすると、実際の位相差は $135 - 4.9 = 130.1$ 度となる。

$$d2 = ((180 - 130.1) \times 365) / (360 \times (1.46 - 1)) \\ = 110 \text{ nm}$$

となる。

【0064】次に、図12(h)に示すように、再び位相差測定用パターン1で位相差を確認する。ここで、位相差が小さすぎた場合は再び追加のエッチングを行い、その後、位相差の確認を行う。そして、位相差が許容範囲に入れば、図12(h)に示すように、O₂ガスを用いたエッチングによりエッチングストッパー層を除去する。

【0065】なお、本位相シフトマスクの製造方法においては、ドライエッチング後に、感光性樹脂を剥離しているため、位相差測定用パターン1を用いなくても半導体素子パターン部分で測定することも可能である。ただし、パターン寸法がマスク上1μm以下になると、測定が難しくなり、また測定精度が低下してしまう。本位相
20 差測定をマスク周辺に配置しておくことで、安定した位相差の制御が可能となる。

【0066】

【実施形態3】次に、本位相シフトマスクのもう一つ別の実施形態について図面を用いて説明する。図13に本位相シフトマスクの製造方法の各工程を示す。なお、ここではリム方式の位相シフトマスクで説明する。まず、図13(a)に示すように、通常の写真マスクブラン
ク上に感光性樹脂106を塗布し、遮光パターンの描画を行う。

【0067】次に、図13(b)に示すように、現像で感光性樹脂106のパターンを形成した後、遮光膜102のエッチングを行う。そして、感光性樹脂106を剥離し、洗浄後にマスク検査を行う。ここで欠陥があれば修正を行う。

【0068】次に、図13(c)に示すように、エッチングストッパー層103を成膜し、感光性樹脂106を塗布してシフターパターンの描画を行う。

【0069】次に、図13(d)に示すように、現像で感光性樹脂106のパターンを形成した後、エッチング
40 ストッパー層103のエッチングを行う。ここで、位相差測定用パターン1の部分では、ドライエッチングのガスを切り替え、図13(e)に示すように透明基板101のエッチングを行う。ここで、所定の深さにエッチングする前に、一旦エッチングを中止する。

【0070】そして、図13(f)に示すように、感光性樹脂106を剥離し位相差を測定する。そして、この測定位相差より残りのエッチング量を計算し、図13

(g)に示すように、エッチングストッパー層103を除去する。

【0063】次に図12(g)に示すように、ウェットを行い、位相差を180度にあわせる。ここで、ウェットエッチングする量d2は、

【0071】本位相シフトマスクの製造方法においては、遮光膜102の上がエッチングストッパー層103で覆われているため、透明基板のエッチングの際に、遮光膜のダメージを防止できるという利点がある。たとえば、通常の写真マスクでは反射防止膜としてクロムの上に酸化クロムが成膜されているが、透明基板101のドライエッチングの際に、この酸化クロムがわずかであるがエッチングされてしまうことが知られている。しかし、本製造方法では感光性樹脂106を剥離してもエッチングストッパー層103が存在するため、追加エッチングをしても問題はない。

【0072】なお、上記はリム方式の位相シフトマスクについて説明したが、この方式以外のマスクにも同様に適用できる。例えば、クロムレス方式のマスクにもエッチングストッパー層をエッチングマスクを用いて、位相差を確認しながら透明基板をエッチングすることができ
る。

【0073】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、遮光膜を除去することによりエッチングされていない透明基板表面を露出させ、この部分とエッチングされた部分間の透過光の位相差を実測することができる。現状、MPM-100等の測定（露光光による実測）しか位相シフトマスクの位相差管理に必要な精度が得られない。本位相差測定用パターンは位相シフトマスクの製造行程途中で位相差の実測が行えるようになるという効果を有して
いる。

【0074】また、本発明の位相シフトマスクの製造方法は前記位相差測定用パターンを用い、位相差を確認しながら透明基板をエッチングするため、位相差の設定精度を向上させることができる。

【0075】また、本発明の位相差測定用パターンは透明領域の一部にエッチングストッパー層を成膜しておくことにより、エッチングされない部分を残し、エッチングされた部分とエッチングされない部分の透過光の位相差を実測することができる。

【0076】また、本発明の位相シフトマスクの製造方法は、前記位相差測定用パターンを用い、残りのエッチング量を確認しつつ透明基板をエッチングするため、誤って深く彫りすぎることはなく、位相差を確実に許容範囲内に設定できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は、本発明の実施形態1に係る位相差測定用パターン（感光性樹脂塗布前）を示す平面図、
50

(b) は同縦断面図である。

【図2】(a) は、本発明の実施形態1に係る位相差測定用パターン（感光性樹脂のパターン形成後）を示す平面図、(b) は同縦断面図である。

【図3】(a) は、本発明の実施形態1に係る位相差測定用パターン（エッチング時）を示す平面図、(b) は同縦断面図である。

【図4】(a) は、本発明の実施形態1に係る位相差測定用パターン（位相差測定時）を示す平面図、(b) は同縦断面図である。

【図5】(a) は、本発明の実施形態1に係る位相差測定用パターン（感光性樹脂塗布前）の適用例の1つを示す平面図、(b) は同縦断面図である。

【図6】(a) は、本発明の実施形態1に係る位相差測定用パターン（感光性樹脂のパターン形成後）の適用例の1つを示す平面図、(b) は同縦断面図である。

【図7】本発明の実施形態1に係る位相差測定用パターンのマスク上での配置例を示した平面図である。

【図8】本発明の実施形態1に係る位相シフトマスクの製造方法（ウェットエッチング前）を示す縦断面図である。

【図9】本発明の実施形態1に係る位相シフトマスクの製造方法（ウェットエッチング以後）を示す縦断面図である。

【図10】本発明の実施形態2に係る位相差測定用パターン（透明基板のエッチング前）を示す平面図、(b) は同縦断面図である。

【図11】(a) は、本発明の実施形態2に係る位相差測定用パターン（位相差測定時）を示す平面図、(b) は同縦断面図である。

【図12】本発明の実施形態2に係る位相シフトマスクの製造方法を示す断面図である。

【図13】本発明の実施形態3に係る位相シフトマスク

の製造方法を示す断面図である。

【図14】(a) は、従来の位相シフトマスクの一例を示す平面図、(b) は同縦断面図、(c) は透過光の振幅分布を示した図である。

【図15】従来のレベンソン方式位相シフトマスクの製造方法を示す縦断面図である。

【図16】(a) は、従来の別のレベンソン方式位相シフトマスクの構造を示す平面図、(b) は同縦断面図である。

【図17】(a) は、従来のもう一つのレベンソン方式位相シフトマスクの構造を示す平面図、(b) は同縦断面図である。

【図18】従来のレベンソン方式位相シフトマスクの製造方法のその他の例を示す縦断面図である。

【図19】(a) は、従来の位相差測定用パターンを示す平面図、(b) は同縦断面図である。

【図20】従来のレベンソン方式位相シフトマスクの製造方法のその他の例を示す縦断面図である。

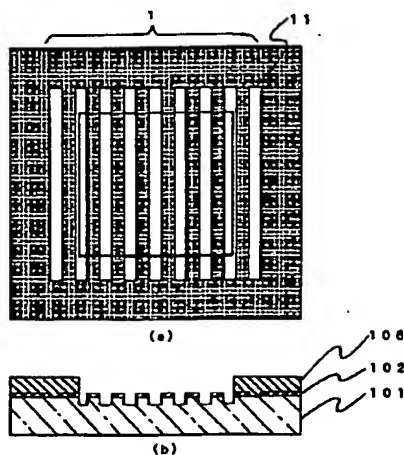
【図21】(a) は、従来のリム方式の位相シフトマスクを示す平面図、(b) は同縦断面図である。

【図22】(a) は、従来のクロムレス方式の位相シフトマスクを示す平面図、(b) は同縦断面図である。

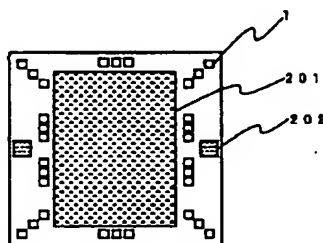
【符号の説明】

- 1 位相差測定用パターン
- 11, 11a, 11b 開口パターン
- 21 開口パターン
- 101 透明基板
- 102 遮光膜
- 103 エッチングストッパー層
- 104 透明膜
- 105 ウェットエッチング液
- 106 感光性樹脂

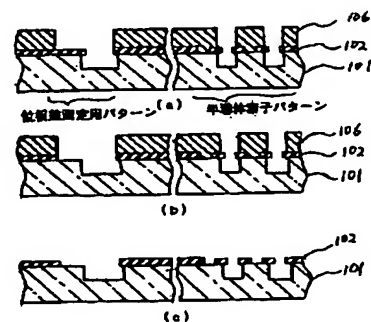
【図6】



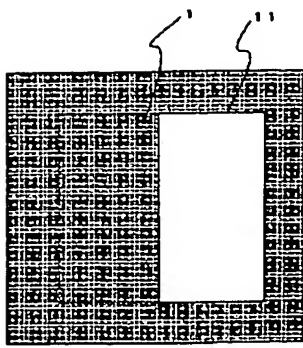
【図7】



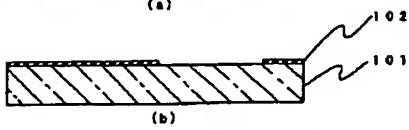
【図9】



【図1】



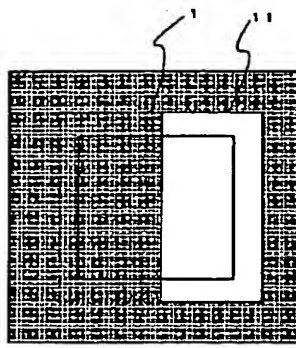
(a)



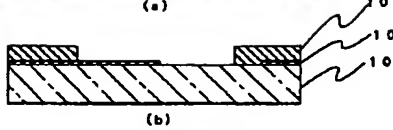
(b)

1: 位相差測定用パターン
11: 開口パターン
101: 透明基板
102: 遮光膜

【図2】



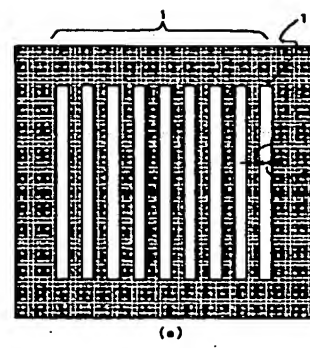
(a)



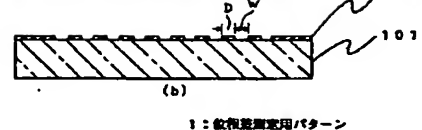
(b)

1: 位相差測定用パターン
11: 開口パターン
101: 透明基板
102: 遮光膜
106: 感光性樹脂

【図5】



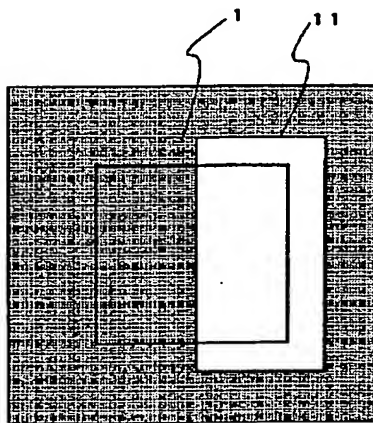
(a)



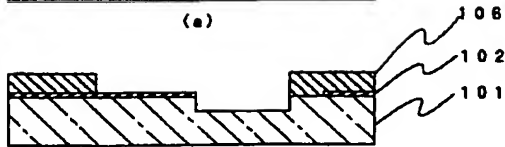
(b)

1: 位相差測定用パターン
11: 開口パターン
101: 透明基板
102: 遮光膜

【図3】



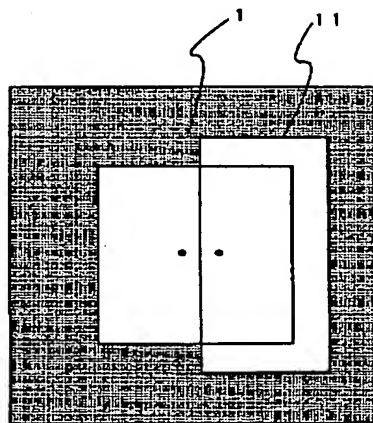
(a)



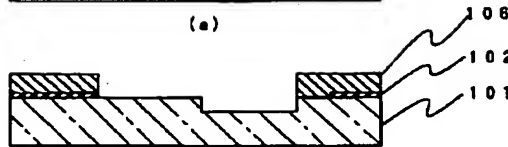
(b)

1: 位相差測定用パターン
11: 開口パターン
101: 透明基板
102: 遮光膜
106: 感光性樹脂

【図4】



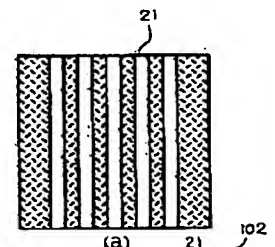
(a)



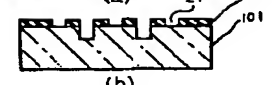
(b)

1: 位相差測定用パターン
11: 開口パターン
101: 透明基板
102: 遮光膜
106: 感光性樹脂

【図16】

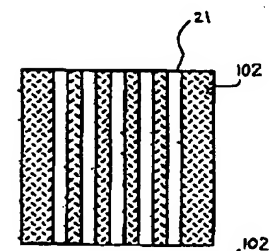


(a)

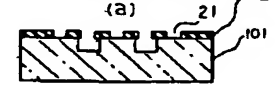


(b)

【図17】

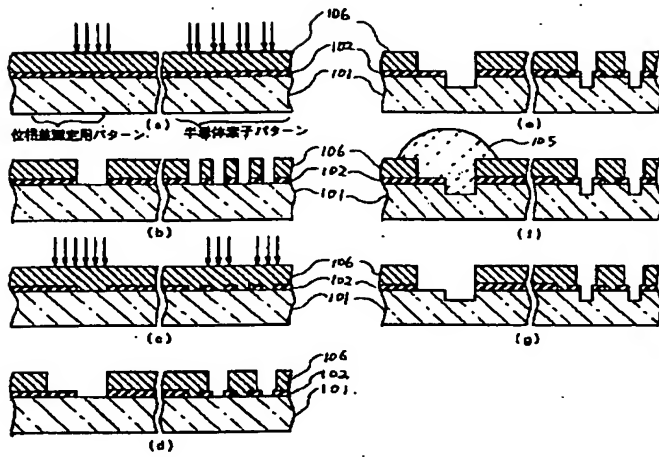


(a)

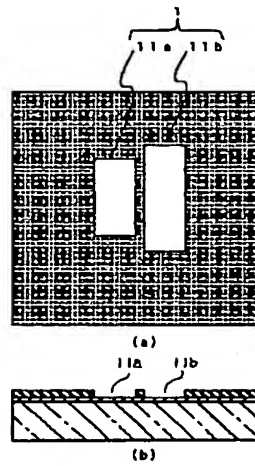


(b)

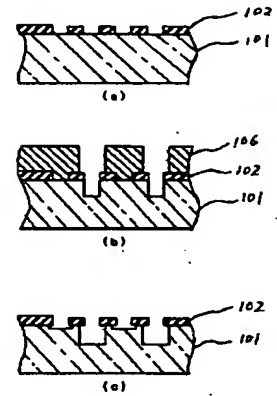
【図8】



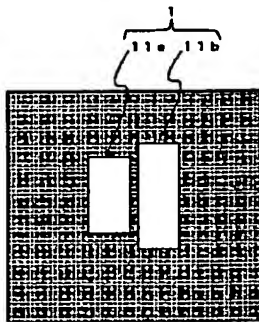
【図10】



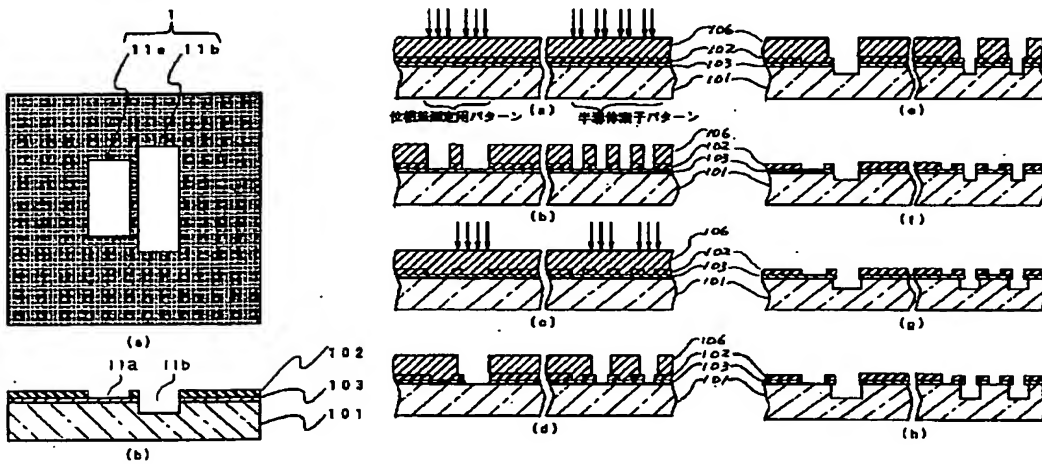
【図20】



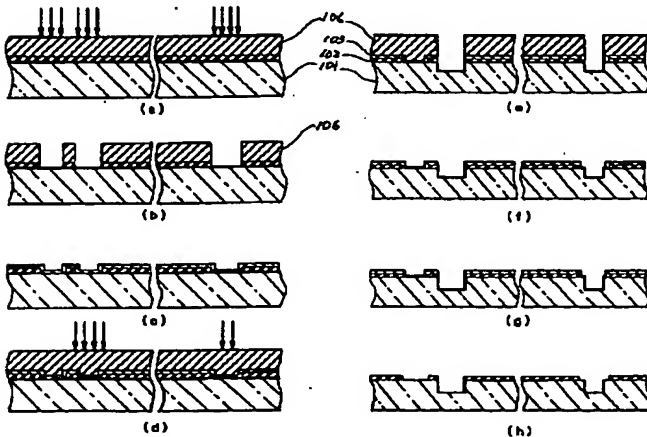
【図11】



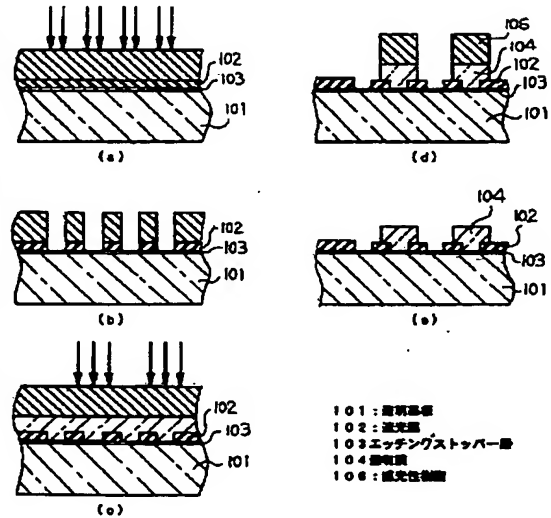
【図12】



【図13】

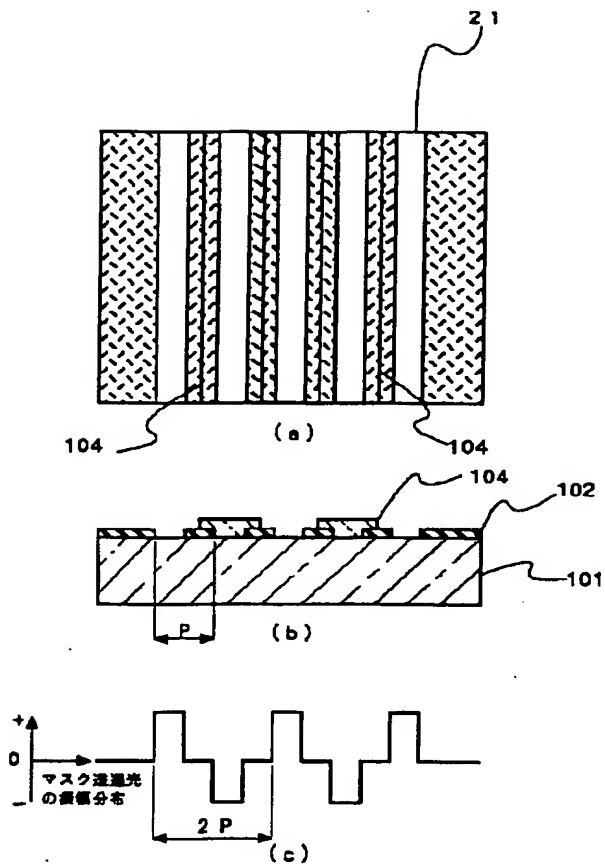


【図15】

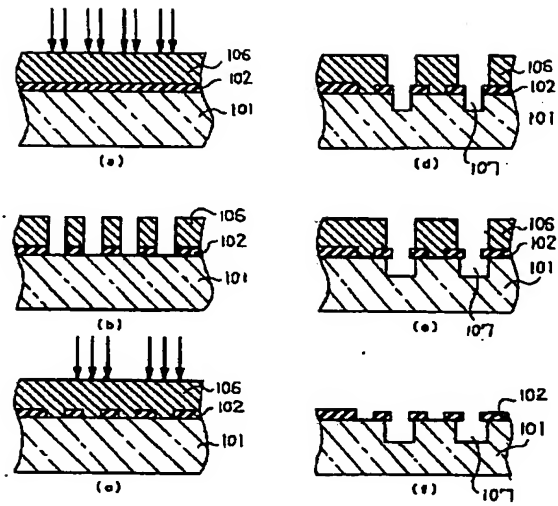


101: 基板
102: 光阻膜
103: エッチングストッパー層
104: 露光膜
106: 感光性樹脂

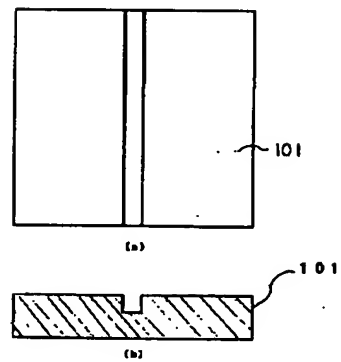
【図14】



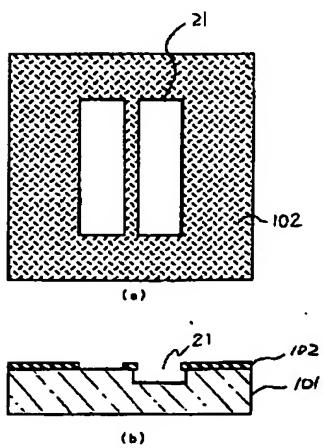
【図18】



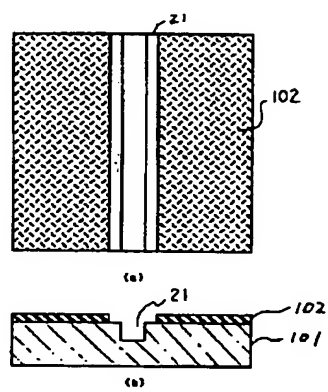
【図22】



【図19】



【図21】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.